

NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETA
UNIVERZITETA U BEOGRADU

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, održanoj 29.3.2018. godine odlukom br. 35/78 imenovani smo za članove Komisije za podnošenje izveštaja o ispunjenosti uslova za izbor u naučno-istraživačko zvanje NAUČNI SARADNIK kandidata dr Dragane Radovanović, dipl. inž. tehnologije. Na osnovu pregleda i analize dostavljenog materijala i uvida u dosadašnji rad kandidata, podnosimo sledeći

IZVEŠTAJ

1.1. BIOGRAFSKI PODACI

Dragana Đ. Radovanović (rođ. Ivšić) rođena je 8.1.1985. godine u Beogradu. Završila je XII beogradsku gimnaziju „Dimitrije Tucović” 2003. godine kao nosilac Vukove diplome. Školske 2003/2004 godine upisala je Tehnološko-metalurški fakultet, Univerziteta u Beogradu. Studije je završila 2008. godine na smeru Hemijsko inženjerstvo, sa prosečnom ocenom studija 8,94. Diplomski rad pod nazivom „Određivanje volumetrijskih veličina binarnih smeša alkohola sa dicikloheksilaminom” odbranila je sa ocenom 10. Dobitnik je nagrade fonda „Panta S. Tutundžić“ za izuzetan uspeh na studijama. Školske 2008/09 godine upisala je doktorske studije na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, smer Metalurško inženjerstvo, pod mentorstvom prof. dr Željka Kamberovića. Položila je sve ispite predviđene planom i programom na doktorskim studijama sa prosečnom ocenom 10,0. Završni ispit „Optimizacija procesa luženja hidrometalurškog postupka prerade štampanih ploča iz elektronskog otpada” odbranila je 2010. godine sa ocenom 10.

Od 2008. godine zaposlena je na Tehnološko-metalurškom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, a od 2009. godine u Inovacionom centru Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu, kao istraživač pripravnik. Učesnik je sledećih projekata Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije: projekat tehnološkog razvoja „Dobijanje nanostrukturnih prahova u cilju proizvodnje novih disperzno ojačanih sinterovanih materijala u sistemu Cu-Al₂O₃“, TR 19032, angažovana od 2008. do 2011. godine; i projekat tehnološkog razvoja „Inovativna sinergija nus-produkata, minimizacije otpada i čistije proizvodnje u metalurgiji“, TR 34033, angažovana od 2011. godine (projekat je u toku); oba pod rukovodstvom prof. dr Željka Kamberovića. U zvanje istraživač saradnik izabrana je 2013. godine.

Kandidat je doktorsku disertaciju na temu "Proces stabilizacije i solidifikacije opasnog mulja obrazovanog nakon tretmana otpadne vode u primarnoj metalurgiji bakra" odbranila 22.2.2018.godine i time stekla zvanje doktor tehničkih nauka – metalurško inženjerstvo.

Kandidat dr Dragana Radovanović je autor i koautor jednog rada u istaknutom naučnom časopisu međunarodnog značaja (M22), 3 rada u naučnim časopisima međunarodnog značaja (M23), jednog rada u nacionalnom časopisu međunarodnog

značaja (M24), jednog rada u časopisu nacionalnog značaja (M52) i jednog rada u naučnom časopisu (M53), zatim 4 saopštenja na skupovima međunarodnog značaja (M33) i 2 saopštenja na skupu nacionalnog značaja (M63). Takođe, i jednog novog tehničkog rešenja (M85).

1.2. NAUČNO-ISTRAŽIVAČKI RAD

Dragana Đ. Radovanović je do sada učestvovala u dva naučno-istraživačka projekta finansirana od strane Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije. Trenutno, u zvanju istraživača saradnika, je angažovan sa 12 istraživač-meseci na projektu iz programa tehnološkog razvoja pod nazivom „Inovativna sinergija nus-produkata, minimizacije otpada i čistije proizvodnje u metalurgiji“, TR 34033, pod rukovodstvom prof. dr Željka Kamberovića. Takođe, angažovana je i na Inovacionom projektu “Razvoj tehnologije i izgradnja laboratorijskog uređaja za granulaciju praškastih preparata za zaštitu bilja“ (projekat u toku) pod rukovodstvom prof. dr Tatjane Kaluđerović Radoičić.

Od 2009. godine Dragana Đ. Radovanović se bavila eksperimentalnim istraživanjima u oblasti Metalurškog inženjerstva, koja se odnose na procese tretmana otpadnih tokova iz primarne metalurgije osnovnih metala uključujući tretman otpadnih voda, procese stabilizacije i solidifikacije muljevitog otpada, stabilizaciju izrazito migratornih elemenata, mogućnost valorizacije metala iz otpadnih tokova, tretman elektronskog i električnog otpada.

U toku naučno-istraživačkog rada kandidat se bavila ispitivanjem uticaja metalurških otpadnih tokova na životnu sredinu i ocenom efikasnosti primenjenih tretmana stabilizacije na opasan otpad. Za karakterizaciju opasnog i tretiranog otpada koristila je instrumentalne analize: rentgensko fluorescentnu spektrometriju (XRF), rendgensku difrakciju (XRD) i skanirajuću elektronsku mikroskopiju (SEM); standardne testove luženja prihvaćene u nacionalnom zakonu (EN 12457-4 i TCLP), a za analizu koncentracije izluženih metala u rastvorima optičku emisionu spektroskopiju sa induktivno kuplovanom plazmom (ICP/OES). Takođe, kandidatkinja se usavršila u primeni specijalizovanih softverskih paketa za simulaciju hemijskih i metalurških procesa (HSC Chemistry i SuperPro Designer). U toku naučno-istraživačkog rada vezanog za izradu doktorske disertacije, kandidat dr Dragana Đ. Radovanović je predložila postavku i primenila novi test luženja pod realnim uslovima sredine, kao i modifikovanu d-ANC (eng. *Differential acid neutralisation capacity analysis*) koji doprinose razvoju sistema ocenjivanja efikasnosti procesa tretmana opasnog otpada.

U dosadašnjem radu, dr Dragana Đ. Radovanović je pokazala samostalnost u pripremi i realizaciji eksperimenata, kao i u analizi dobijenih rezultata, veliku zainteresovanost za praćenje literature, pisanje naučnih radova kao i sposobnost za timski rad. Rezultati koje je dr Dragana Đ. Radovanović ostvarila značajno su doprineli realizaciji i kvalitetu naučno-istraživačkih projekata u kojima je učestvovala, čime je potvrdila svoju veliku istraživačku kompetentnost.

Kandidat dr Dragana Đ. Radovanović je autor i koautor jednog rada u istaknutom naučnom časopisu međunarodnog značaja (M22), 3 rada u naučnim časopisima međunarodnog značaja (M23), jednog rada u nacionalnom časopisu međunarodnog značaja (M24), jednog rada u časopisu nacionalnog značaja (M52) i jednog rada u

naučnom časopisu (M53), zatim 4 saopštenja na skupovima međunarodnog značaja (M33) i 2 saopštenja na skupu nacionalnog značaja (M63). Takođe, i jednog novog tehničkog rešenja (M85).

2. NAUČNA KOMPETENTNOST

2.1. Objavljeni naučni radovi i drugi vidovi angažovanja u naučno-istraživačkom i stručnom radu

1. Radovi objavljeni u naučnim časopisima međunarodnog značaja (M20)

1.1 Rad u istaknutom međunarodnom časopisu (M22)

1.1.1 Radovanović D., Kamberović Ž., Andjić Z., Ranitovic M., Markovic B.: The effect of CaO and MgO addition and cooling rate on stability of slag obtained after jarosite and neutral leaching residue treatment in the Waelz process, Physicochemical Problems of Mineral Processing, 2018, 54(2), 484–495, ISSN 1643-1049, IF₂₀₁₆ = 0,901 (Mining & Mineral Processing (12/20))

1.2 Rad u međunarodnom časopisu (M23)

1.2.1 Ivšić-Bajčeta D., Kamberović Ž., Korać M., Gavrilovski M.: A solidification/stabilization process for wastewater treatment sludge from a primary copper smelter, Journal of the Serbian Chemical Society, 2013, 78(5), 725-739, ISSN: 0352-5139, IF₂₀₁₃ = 0,889 (Chemistry, Multidisciplinary (131/166))

1.2.2 Štulović M., Ivšić-Bajčeta D., Ristić M., Kamberović Ž., Korać M., Anđić Z.: Leaching Properties of Secondary Lead Slag Stabilized/Solidified with Cement and Selected Additives, Environment protection engineering, 2013, 39(3), 149-163, ISSN: 0324-8828, IF₂₀₁₃ = 0,439 (Engineering, Environmental (47/49))

1.2.3 Radovanović D., Kamberović Ž., Korać M., Rogan J.: Solidified Structure and Leaching Properties of Metallurgical Wastewater Treatment Sludge after Solidification/Stabilization Process, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2016, 51(1), 34-43, ISSN: 1093-4529, IF₂₀₁₆ = 1,425 (Engineering, Environmental (36/49))

1.3 Rad u nacionalnom časopisu međunarodnog značaja (M24)

1.3.1 Ivšić-Bajčeta D., Kamberović Ž., Rogan J., Ćirković M., Pavlović T.: Analysys of copper losses throughout weak acid effluent flows generated during off-gas treatment in the new copper smelter RTB Bor, Metallurgical & Materials Engineering, 2013, 19(3), 217-231, ISSN: 2217-8961

2. Zbornici međunarodnih naučnih skupova (M30)

2.1 Saopštenje sa međunarodnog skupa štampano u celini (M33)

- 2.1.1 Ivšić-Bajčeta D.**, Kamberović Ž., Korać M., Anđelić B., Trujić V.: Possibilities of solidification/stabilization of sludge from wastewater treatment plant in TIR Bor with fly ash, Proceedings of XIX International Scientific and Professional Meeting EcoIst '11, Bor, Srbija, 2011, 420-426, ISBN: 978-86-80987-84-2
- 2.1.2 Manojlović V.**, Kamberović Ž., Simić M., **Ivšić-Bajčeta D.**, Korać M., Pavlović M., Tomović A.: Treatment of EAF-dust in DC plasma furnace - off-gas composition modelling and comparison with real measurements, III International Conference „Ecology of urban areas 2013“, Zrenjanin, Ečka, Srbija, 2013, 143-148. ISBN: 978-86-7672-210-5
- 2.1.3 Ivšić-Bajčeta D.**, Kamberović Ž.: Synergistic effect of fly ash and lime on treatment of sulfurous-acidic gaseous products of smelting in metallurgy, - Proceedings of Integrated symposium with international participation 5th symposium on ash, slag and waste landfills in power plants and mines, Subotica, Srbija, 2013, 126-131, ISBN: 978 – 86 – 80809 – 79 – 3
- 2.1.4 Radovanović D.**, Kamberović Ž., Ranitović M., Korać M., Gavrilovski M., Mihajlović A.: Integral treatment of copper smelter wastewater by copper mine overburden, 47th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Srbija, 2015, 401-404, ISBN: 9788678270475

3. Radovi u časopisima nacionalnog značaja (M50)

3.1 Rad u časopisu nacionalnog značaja (M52)

- 3.1.1 Kamberović Ž.**, Korać M., **Ivšić D.**, Nikolić V., Ranitović M.: Hydrometallurgical Process For Extraction Of Metals From Electronic Waste-Part I: Material Characterization And Process Option Selection, Metallurgical & Materials Engineering , 15(4), 2009, 231-243, ISSN: 2217-8961

3.2. Rad u naučnom časopisu (M53)

- 3.2.1 Radovanović D.**, Ranitović M., Kamberović Ž., Korać M., Gavrilovski M.: Tretman otpadne vode iz nove topionice bakra RTB Bor, Procesna tehnika, 2017, 29(1), 20-26, ISSN: 2217-2319

4. Zbornici skupova nacionalnog značaja (M60)

4.1 Saopštenje na skupu nacionalnog značaja štampano u celini (M63)

- 4.1.1 Ivšić D.**, Kamberović Ž., Korać M., Nikolić V., Milijić Z., Majinski N.: Stabilization/solidification of wastewater treatment sludge from copper smelter

RTB Bor, process implementation, Rudarstvo 2012, Zlatibor, Srbija 2012, 387-392, ISBN: 978-86-80809-69-4

- 4.1.2** Dimitrijević N., Ranitović M., **Ivšić D.**: Ispitivanje mogućnosti dobijanja staklo-keramičkih materijala postupkom brzog sinterovanja EAFD i LCD, Recycling technologies and sustainable development, Soko Banja, Srbija, 2012, 5-9, ISBN: 978-86-6305-000-6

5. Odbranjena doktorska disertacija (M71)

Radovanović D., Proces stabilizacije i solidifikacije opasnog mulja obrazovanog nakon tretmana otpadne vode u primarnoj metalurgiji bakra, Tehnološko-metalurški fakultet, Univerzitet u Beogradu, 22. februar 2018. godine.

6. Tehničko rešenje

6.1 Novo tehničko rešenje (nije komercijalizovano) (M85)

- 6.1.1** Kamberović Ž., Korać M., Anđić Z., Gavrilovski M., **Ivšić-Bajčeta D.**, Novi tehnološki postupak stabilizacije/solidifikacije opasnog mulja obrazovanog nakon tretmana otpadne vode u Topionici bakra RTB Bor, 2012, rezultat projekta MPITR evidencioni br. TR 34033

2.2. Naučna saradnja i saradnja sa privredom

1. Projekti finansirani od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj

- 1.1** Projekat tehnološkog razvoja „Dobijanje nanostrukturnih prahova u cilju proizvodnje novih disperzno ojačanih sinterovanih materijala u sistemu Cu-Al₂O₃“, TR 19032, (rukovodilac prof. dr Željko Kamberović) angažovana od 2008. do 2011. godine
- 1.2** Projekat tehnološkog razvoja „Inovativna sinergija nus-produkata, minimizacije otpada i čistije proizvodnje u metalurgiji“, TR 34033, (rukovodilac prof. dr Željko Kamberović) angažovana od 2011. godine (projekat je u toku)
- 1.3** Inovacioni projekat “Razvoj tehnologije i izgradnja laboratorijskog uređaja za granulaciju praškastih preparata za zaštitu bilja“ (rukovodilac prof. dr Tatjane Kaluđerović Radoičić) angažovana od 2017. godine (projekat je u toku)

2. Ostali projekti i studije

- 2.1** Kamberović Ž., Korać M., Gavrilovski M., Stanković V., **Ivšić-Bajčeta D.**, Ranitović M.: Tehnička kontrola tehničke dokumentacije za Projekat postrojenja za tretman otpadnih voda za potrebe projekta Rekonstrukcije topionice bakra u Boru, za RTB Bor grupa, IC TMF, 2012
- 2.2** Gavrilovski M., Kamberović Ž., Stevanović D., Anđić Z., Radovanović D., Uljarević J.: Elaborat o načinu postupanja sa otpadima iz industrije kože Luxury Tannery doo, IC TMF, 2015

3. ANALIZA PUBLIKOVANIH RADOVA

Radovi i saopštenja koja je Dragana Radovanović publikovala odnose se na istraživanja kojima se bavila u okviru angažovanja na naučno-istraživačkim projektima finansiranim od strane nadležnog Ministarstva. Veći deo radova se bave procesima tretmana stabilizacije i solidifikacije (S/S) otpadnih muljeva iz primarne metalurgije osnovnih metala, konkretno bakra i cinka, sa visokim sadržajem toksičnih metala i izrazito migratornih arsena i antimona.

Najveći broj radova se odnose na S/S proces opasnog mulja koji se obrazuje tokom tretmana otpadne vode iz primarne topionice bakra, na primeru topionice bakra RTB Bor. U vreme izrade eksperimentalnog dela istraživanja nova topionica bakra RTB Bor, u čijim okvirima je izgrađen pogon za tretman otpadne vode, nije bila puštena u rad. Iz tih razloga, usled nedostatka realnih uzoraka otpadne vode i mulja, bilo je potrebno uraditi simulacije procesa tretmana otpadnih gasova iz procesa topljenja i konvertovanja koncentrata rude bakra u cilju dobijanja sastava tokova otpadne vode. Rezultati ovih simulacija su prikazani u radu **1.3.1**. Zaključeno je da tokovi otpadnih gasova iz procesa u topionici nose velike količine bakra koji, nakon tretmana gasova u mokrim skruberima, ostaje nerastvoran u otpadnoj kiseloj vodi i koji bi jednostavnim razdvajanjem čvrste od tečne faze mogao biti vraćen u procese topljenja. Takođe, rezultati simulacije su iskorišćeni za određivanje sadržaja metala u otpadnoj vodi. Pretpostavljeno je da će metali prisutni u obliku oksida i sulfata biti potpuno rastvorni, dok će oni prisutni u sulfidnom i metaličnom obliku ostati nerastvorni i prisutni u obliku suspendovanih čestica.

Otpadna voda, nastala tokom tretmana otpadnih gasova iz procesa topljenja i konvertovanja, se dalje tretira korišćenjem krečnog mleka (13% rastvor Ca(OH)_2) za neutralizaciju kiseline i taloženje metala u obliku hidroksida i rastvora železo(III)-hidroksida za kotaloženje arsena. I ovaj tretman je obrađen simulacijom, a rezultati su prikazani u radu **3.2.1**. Kao rezultat simulacije dobijen je sastav otpadnog mulja koji će nastajati tretmanom otpadne vode iz primarne topionice bakra RTB Bor i koji je bio predmet daljeg naučno-istraživačkog rada kandidata. Iako se proces tretmana otpadne vode i uklanjanja metala taloženjem u obliku hidroksida smatra jednom od najboljih dostupnih tehnologija, Dragana Radovanović je u radu **2.1.4**. dala predlog novog tretmana otpadne vode iz topionice upotrebom jedne vrste rudarskog otpada – oksidnih raskrivki, što predstavlja integralni tretman dve vrste otpada. Oksidne raskrivke nastaju tokom iskopavanja sulfidnih ruda bakra i u svom sastavu imaju oksidne rude bakra koje se smatraju otpadom. Ovakav materijal se može koristiti za neutralizaciju kiselih otpadnih voda pri čemu, istovremeno, dolazi do luženja bakra iz oksidnih ruda i obogaćivanja rastvora (otpadnih voda). Kontrolisanim uslovima procesa dobija se rastvor pH vrednosti 2 koji je pogodan za dalje procese elektrolitičkog dobijanja bakra.

S/S tretman se smatra najboljom tehnologijom za tretman muljevitog otpada sa visokim sadržajem metala. Proces implementacije S/S tretmana, od laboratorijskog ispitivanja otpada i agenasa za stabilizaciju (veziva), određivanja optimalnog sastava solidifikata, ispitivanja na nivou pilot postrojenja do izbora krajnjeg scenarija, kandidat Dragana Radovanović je opisala u radu **4.1.1**. U naučno-istraživačkom radu koji je za cilj imao razvoj S/S tretmana opasnog mulja, kandidat je ispitivala uticaj letećeg pepela kao individualnog veziva, kao i smeša letećeg pepela sa hidratizanim krečom (Ca(OH)_2) i

kompozitnim portland cementom. Efikasnost S/S tretmana je ocenjivana merenjem pritise čvrstoće (*eng. Unconfined compressive strength, UCS*) i određivanjem koncentracije izluženih metala nakon primenjenih standardnih testova luženja. Rezultati ispitivanja S/S tretmana primenom letećeg pepela su prezentovani u radu **2.1.1**. Zaključeno je da solidifikat sastava 80% opasni mulj i 20% leteći pepeo ima vrednosti UCS od 1 MPa, što je više od zahtevanih 0,35 MPa, i koncentracije izluženih metala nakon standardnog testa luženja EN 12457-4 ispod maksimalno dozvoljenih koncentracija (MDK). Deo rezultata ispitivanja uticaja smeše letećeg pepela i hidratisanog kreča prikazan je u radu **2.1.3**. Sveobuhvatni prikaz uticaja letećeg pepela i hidratisanog kreča na S/S proces opasnog mulja dat je u radu **1.2.1**. Rezultati obuhvataju uticaj veziva na razvoj UCS nakon 7, 14 i 28 dana starenja uzoraka, na izluženje metala i arsena iz solidifikata nakon dva standardna testa luženja koja su propisana i nacionalnim zakonom (TCLP i EN 12457-4), kao i test puferskog kapaciteta dobijenih solidifikata (*eng. Acid neutralization capacity test, ANC*). Zaključeno je da najveći uticaj na razvoj pritise čvrstoće ima odnos sadržaja kalcijuma i silicijuma u solidifikatu (odnos Ca/Si), a da nivo izluženih metala zavisi od puferskog kapaciteta solidifikata. Kao optimalni solidifikat izabran je onaj sastava 80% opasni mulj i 20% vezivo sastava 50% leteći pepeo i 50% hidratisani kreč. Navedeni optimalni sastav solidifikata je, takođe, predložen u tehničkom rešenju **6.1.1**. Rezultati nastavka istraživanja koji uključuju ispitivanje smeše letećeg pepela i cementa i veziva trojnog sastava (leteći pepeo, hidratisani kreč i cement) su prikazani u radu **2.1.3**. U ovom radu kandidatkinja je predložila postavku i primenila novi test luženja kojim se determinišu realni uticaji sredine na izluženje metala iz solidifikata tokom godinu dana. Razlog za predlog novog testa luženja su bili rezultati standardnih testova luženja (TCLP i EN 12457-4) koji su dali različitu karakterizaciju opasnog mulja i solidifikata sa letećim pepelom kao jedinim vezivom. Rezultati novog testa luženja su pokazali koncentracije izluženih metala znatno bliže rezultatima testa EN 12457-4. U ovom radu je takođe predložena modifikacija d-ANC (*eng. Differential acid neutralization analysis*) koja uključuje preklapanje rezultata d-ANC analize sa Eh-pH dijagramima. Primenom modifikovane d-ANC analize utvrđeno je prisustvo hidratisanog kreča koji je dodat u višku i koji je ostao neproreagovan u reakciji hidratacije, a koji nije detektovan XRD analizom solidifikata. Prisustvo ove komponente je potvrđeno na slikama mikrostrukture dobijenih primenom SEM analize. Rezultati su pokazali da prisustvo neproreagovalog hidratisanog kreča u solidifikatima ima negativan uticaj na razvoj UCS, ali da značajno utiče na povećanje puferskog kapaciteta, a time i na izluženje metala doprinoseći njihovoj stabilizaciji unutar solidifikata.

Proces termičke *in situ* stabilizacije ispitivan je na realnom uzorku otpadnih muljeva iz procesa hidrometalurškog dobijanja cinka, kao primer uzet je otpadni mulj iz kompanije Zorka – Obojena metalurgija. Otpadni mulj čine jarozit i talog nakon neutralnog luženja, koji predstavljaju najveći ekološki problem u metalurgiji cinka usled visokog sadržaja olova i cinka, ali i izrazito migratornog arsena i antimona. Rezultati su prikazani u radu **1.1.1**, a sam proces prerade ovih muljeva uključuje istovremenu valorizaciju lako isparljivog cinka i olova u toku velcovanja (*eng. Waelz process*) uz stabilizaciju migratornih elemenata koji zaostaju u klinkeru. Stabilan klinker je dobijen korišćenjem smeše CaO i MgO kao topitelja u pirometalurškom procesu.

Rezultati ovog dela naučno-istraživačkog rada Dragane Radovanović prikazani su u doktorskoj disertaciji pod nazivom „Proces stabilizacije i solidifikacije opasnog mulja obrazovanog nakon tretmana otpadne vode u primarnoj metalurgiji bakra“.

Tretman drugih vrsta otpada iz metalurških procesa su prikazani u par radova gde je Dragana Radovanović bila jedan od koautora. U radu **1.2.2** ispitivan je mehanizam luženja olova i arsena iz olovne šljake koja je stabilizovana upotrebom različitih aditiva vezivu (cement) i određen je model njihovog izluženja. Zaključak ovog istraživanja je da, pored toga što se izluženje arsena i olova odvija po istom modelu iz svih solidifikata različitog sastava, pravilan odabir aditiva za smešu cementa i olovne paste dovodi do njihove stabilizacije unutar solidifikovane cementne matrice. U radu **2.1.2** prikazano je modelovanje tretmana prašine elektro lučne peći (*eng. Electric arc furnace dust, EAFD*) u plazma peći, a rezultati su upoređeni sa rezultatima merenja prilikom tretmana u laboratorijskim uslovima. Primenjeno modelovanje omogućava određivanje sastava ulazne šarže u peć čime bi se kontrolisao sastav otpadnih gasova i njihov uticaj na životnu sredinu. U radu **4.1.2.** ispitivana je mogućnost iskorišćenja EAFD i delova LCD monitora za stvaranje staklo-keramičkog materijala koji bi imao povoljne karakteristike za dalju upotrebu u industriji.

Kandidatkinja se u toku svog naučno-istraživačkog rada bavila i mogućnošću valorizacije bakra i plemenitih metala iz električnog i elektronskog otpada (*eng. Waste electrical and electronic equipment, WEEE*), odnosno iz otpadnih štampanih ploča (*eng. printed circuit boards, PCB*), a rezultati su prezentovani u njenom završnom ispitu pod naslovom „Optimizacija procesa luženja hidrometalurškog postupka prerade štampanih ploča iz elektronskog otpada“. Značaj predtretmana PCB u cilju izbora odgovarajuće frakcije koja će biti bogata željenom metaličnom fazom je prikazan u radu **3.1.1.**

4. CITIRANOST RADOVA KANDIDATA

Radovi dr Dragane Radovanović su citirani 35 puta u međunarodnim časopisima, bez autocitata (citiranost je data prema bazama Scopus i Google Scholar, april 2018).

3.1.1 Kamberović Ž., Korać M., Ivšić D., Nikolić V., Ranitović M.: Hydrometallurgical Process For Extraction Of Metals From Electronic Waste-Part I: Material Characterization And Process Option Selection, Metallurgical & Materials Engineering , 15(4), 2009, 231-243

1. B. Ghosh, M.K. Ghosh, P. Parhi, P.S. Mukherjee, B.K. Mishra, Waste Printed Circuit Boards recycling: an extensive assessment of current status, Journal of Cleaner Production, 2015, 94, 5-19.
2. A. Akcil, C. Erust, C.S. Gahan, M. Ozgun, M. Sahin, A. Tuncuk, Precious metal recovery from waste printed circuit boards using cyanide and non-cyanide lixivants—a review, Waste Management, 2015, 45, 58–271.
3. M. Gurung, B.B. Adhikari, H. Kawakita, K. Ohto, K. Inoue, S. Alam, Recovery of gold and silver from spent mobile phones by means of acidothiourea leaching followed by adsorption using biosorbent prepared from persimmon tannin, Hydrometallurgy, 2013, 133, 84-93.

4. A. Baba, F. Adekola, D. Ayodele, Study of metals dissolution from a brand of mobile phone waste, *Metallurgical & Materials Engineering*, 2010, 16 (4), 269-277
5. A. Luyima, H. Shi, L. Zhang, Leaching studies for metals recovery from waste printed wiring boards, *Journal of The Minerals, Metals & Materials Society JOM-J*, 2011, 63(8), 38-41.
6. Y. Zhong, D. Li, Z. Mao, W. Huang, P. Peng, P. Chen, J. Mei, Kinetics of tetrabromobisphenol A (TBBPA) reactions with H₂SO₄, HNO₃ and HCl: Implication for hydrometallurgy of electronic wastes, *Journal of Hazardous Materials*, 2014, 270, 196–201.
7. S. Dimitrijević, V. Trujić, A. Ivanović, S. Dimitrijević, M. Mirić, Recycling of Precious Metals from E-scrap, *Iranian Journal of Chemistry and Chemical Engineering*, 2013, 32(4), 17-23.
8. G.C. de Oliveira Neto, A.J.C. Correia, A.M. Schroeder, Economic and environmental assessment of recycling and reuse of electronic waste: Multiple case studies in Brazil and Switzerland, *Resources, Conservation & Recycling*, 2017, 127, 42–55.
9. S.B. Dimitrijević, Ml.B. Mirić, Vl.K. Trujić, B.N. Madić, St.P. Dimitrijević, Recovery of precious (Au, Ag, Pd, Pt) and other Metals by e-scrap processing, *Bulgarian Chemical Communications*, 2014, 46(2), 417 – 422.
10. R. Chauhan, K. Upadhyay, Removal of heavy metal from E-Waste: A review, *International Journal of Chemical Studies*, 2015, 3(3), 15-21.
11. F. dos Santos, C. de Souza, R. Peixoto, P. da Rocha, Copper extraction from electronic scraps by an oxidative acid leaching process, 6th International Seminar on Copper Hydrometallurgy, Vina del Mar, Chile, 2011.
12. R. Martino, C. Iseli, S. Gaydardzhiev, M. Streicher-Porte, A. Weh, Characteristics of End-of-Life Printed Wiring Boards Processed by Electrodynamical Fragmentation, *Chemie Ingenieur Technik* 2017, 89(1–2), 152–160
13. T. Amietszajew, S. Sridhar, R. Bhagat, Metal Recovery by Electrodeposition from a Molten Salt Two-Phase Cell System, *Journal of Electrochemical Society*, 2016, 163(9), D515-D521.
14. S.J. Kulkarni, A Review on Studies and Research on Gold Recovery from Industrial Solid Waste, *International Journal of Science and Healthcare Research*, 2016, 1(2), 53-56.
15. A. Hisyam, N.A. Ismail, M.K.A. Mohd Taib, S. Shariff, Leaching Study Of Precious Metal Recovery From Ferric Permanent Magnet Waste, *Journal of Engineering and Applied Sciences*, 2016, 11(6), 9981-9984.
16. S. Dimitrijević, S. Dragulović, V. Trujić, Lj. Mišić, Z. Ljubomirović, Re-covery of Gold and Silver from Printed Circuit Boards (PCBs), *Proceedings of SGEM*, Albena, Bulgaria, 2011, 850-858.
17. A.A. Baba, F.A. Adekola, D.T. Ayodele, Study Of Dissolution Kinetics Of A Brand Of Mobile Phone In Nigerian Market, *Journal of Economics and Engineering*, 2010, 4, 15-23.
18. A. Memon, R.L. Patel, The Recovery of Precious and Base Metals from E-Waste: A Review, *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering*, 2016, 2(5), 1-7.

19. M. Kavousi, A. Sattari, E. Keshavarz Alamdari, D. Haghshenas Fatmehsari, Leaching Studies for Copper and Solder Alloy Recovery from Shredded Particles of Waste Printed Circuit Boards, *Metallurgical and Materials Transactions B*, 2018, <https://doi.org/10.1007/s11663-018-1243-6>
20. V.S. Batra, Waste as a Resource for High Value Materials, *Key Engineering Materials*, 2012, 521, 183-190.
21. A.A. Baba, O.O. Olumodeji, F.A. Adekola, M. Lawa, A.S. Aremu, Quantitative Leaching of a Spent Cell Phone Printed Circuit Board by Hydrochloric acid, *Metallurgical & Materials Engineering*, 2014, 20(2), 119-130.
22. P. Sinioros, M. Lasithiotakis, M.E. Akidil, Small-Capacity Gold Production Tests From Waste Desktop Computers, *Environmental Quality Management*, 2015, 25(2), 5-26.
23. A.M. Schroeder, G.C. de Oliveira Neto, W.C. de Sousa, I. Costa, Recycle and reuse process of e-waste (printed circuit boards) in Brazil: a case study, *Proceedings of the 7th International Conference on Management of computational and collective intelligence in Digital EcoSystems*, Caraguatatuba, Brazil, 2015, 214-220.
24. C.H. Lee, Y.W. Chang, S.R. Popuri, C.E. Hung, C.H. Liao, J.E. Chang, W.S. Chen, Recovery Of Silicon, Copper And Aluminum From Scrap Silicon Wafers By Leaching And Precipitation, *Environmental Engineering & Management Journal*, 2018, 17(3), 561-568.
25. R. Chauhan, K. Upadhyay, Recovery of heavy metal from electronic waste, *International Journal of Applied Research*, 2016, 2(1), 417-419.
26. G.A. Wardania, R. Alfanaar, S.J. Santosa, Pelarutan Selektif Tembaga dari Limbah Printed Circuit Board dengan Hidrogen Peroksida, *Jurnal Penelitian Kimia*, 2018, 14(1), 51-59.

1.2.1 Ivšić-Bajčeta D., Kamberović Ž., Korać M., Gavrilovski M.: A solidification/stabilization process for wastewater treatment sludge from a primary copper smelter, *Journal of the Serbian Chemical Society*, 2013, 78(5), 725-739, ISSN: 0352-5139, IF₂₀₁₃ = 0,889

1. N. Ismail, M.F. Arshad, H.M. Saman, M.M. Zin, Palm Oil Fuel Ash and Ceramic Sludge as Partial Cement Replacement Materials in Cement Paste, *Proceedings of the International Civil and Infrastructure Engineering Conference 2014*, Singapore, 2014, 1087-1092.
2. M. Marinković, T. Milović, B. Matić, Zeolite As Additive In Warm Mix Asphalt, 5th International Conference, Contemporary achievements in civil engineering, Subotica, Serbia, 2017, 483-490.
3. M. Šešlija, A. Rosić, N. Radović, M. Vasić, M. Đogo, M. Jotić, Laboratory testings of fly ash, *Tehnički vjesnik*, 2016, 23(6), 1839-1848.
4. D. Kos, R. Tufegdžić, Koncept postrojenja za tretman opasnog mulja od otpadnih voda iz primarne metalurgije bakra u RTB-BOR, uz primenu procesa stabilizacije i solidifikacije, *Zbornik Međunarodnog kongresa o procesnoj industriji – Procesing*, 2017, 29(1), 209-226.

1.2.2 Štulović M., Ivšić-Bajčeta D., Ristić M., Kamberović Ž., Korać M., Anđić Z.: Leaching Properties of Secondary Lead Slag Stabilized/Solidified with Cement and Selected Additives, Environment protection engineering, 2013, 39(3), 149-163,

1. M.A. Haque, A Statistical Comparison of Mathematical Models for Heavy Metal Leaching Phenomena from Solidified Landfill Waste Mortar, Chemical Product and Process Modeling, 2016, 11(2), 167–183.

1.2.3 Radovanović D., Kamberović Ž., Korać M., Rogan J.: Solidified Structure and Leaching Properties of Metallurgical Wastewater Treatment Sludge after Solidification/Stabilization Process, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2016, 51(1), 34-43

1. R.B Kogbara, Interrelationships among geotechnical and leaching properties of a cement-stabilized contaminated soil, Journal of Environmental Science and Health, Part A, 2017, 52(2), 149-157.
2. M. Arthy, B.R. Phanikumar, Solidification/stabilization of tannery sludge with iron-based nanoparticles and nano-biocomposites, Environmental Earth Sciences, 2017, 76:158.

1.3.1 Ivšić-Bajčeta D., Kamberović Ž., Rogan J., Ćirković M., Pavlović T.: Analysys of copper losses throughout weak acid effluent flows generated during off-gas treatment in the new copper smelter RTB Bor, Metallurgical & Materials Engineering, 2013, 19(3), 217-231

1. G.M. Barassi, M. Klimsa, T. Borrmann, M.J. Cairns, J. Kinkel, F. Valenzuela, Lead sulfate nano- and microparticles in the acid plant blow-down generated at the sulfuric acid plant of the El Teniente mine, Chile, Environmental Science: Processes and Impacts, 2014, 16, 2734–2741.
2. R. Stanojlović, J. Sokolović, M. Guševac, I. Anđelović, G. Stojić, N. Živadinović, Sustainability Of Copper Slag Processing From New Flash Copper Smelter In RTB Bor, Quaestus Multidisciplinary Research Journal, 2016, 9, 42-52.

5. ELEMENTI ZA KVALITATIVNU OCENU NAUČNOG DOPRINOSA KANDIDATA I MINIMALNI KVALITATIVNI USLOVI ZA IZBOR

5.1. Pokazatelj uspeha u naučnom radu

Pokazatelji uspeha u naučnom radu koji kvalifikuju kandidata dr Draganu Radovanović za predloženo naučno zvanje su:

- Aktivno učestvuje ili je učestvovala u istraživanjima u okviru tri domaća (dva u oblasti tehnološkog razvoja i jednog inovacionog) projekta.
- Autor je ili koautor 14 bibliografskih jedinica koji su publikovani u naučnim časopisima i saopšteni na naučnim skupovima: 1 rad u istaknutom naučnom časopisu međunarodnog značaja (M22), 3 rada u naučnim časopisima

međunarodnog značaja (M23), 1 rad u nacionalnom časopisu međunarodnog značaja (M24), 1 rad u časopisu nacionalnog značaja (M52) i 1 u naučnom časopisu (M53). Zatim 4 saopštenja na skupovima međunarodnog značaja (M33) i 2 saopštenja na skupu nacionalnog značaja (M63). Takođe i 1 novo tehničko rešenje (M85).

- Uspešno je odbranila doktorsku disertaciju (M71).
- Aktivno učestvuje na konferencijama i skupovima u zemlji i inostranstvu. Nosilac je povelje za najbolji rad na 30. Procesingu 2017. godine (rad kasnije objavljen u časopisu „Procesna tehnika“, 3.2.1)
- U toku izrade doktorske disertacije Dragana Radovanović je pokazala izuzetnu samostalnost u osmišljavanju i kreiranju naučnih eksperimenata, obradi rezultata i pisanju naučnih radova.

5.2. Angažovanost u razvoju uslova za naučni rad, obrazovanju i formiranju naučnih kadrova

- Kandidat aktivno učestvuje u promociji nauke, što potvrđuje učešćem na Međunarodnom sajmu tehnike i tehničkih dostignuća 2013. godine, Festivalu nauke 2015. i Ecofair-u 2017. godine.
- Tokom svog dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada je učestvovala u izradi eksperimentalnog dela, analize i tumačenja rezultata diplomskih, završnih i master radova, kao i jedne doktorske disertacije (kandidat mr Marija Štulović, zajednički rad 1.2.2) na Tehnološko-metalurškom fakultetu, kao i u radu sa stranim studentima u Erasmus programu.

5.3. Kvalitet naučnih rezultata

5.3.1. Uticajnost, pozitivna citiranost, ugled i uticajnost publikacija u kojima su kandidatovi radovi objavljeni

Kandidat Dragana Radovanović je objavila 1 rad u istaknutom naučnom časopisu međunarodnog značaja (M22), 3 rada u naučnim časopisima međunarodnog značaja (M23), 1 rad u nacionalnom časopisu međunarodnog značaja (M24), 1 rad u časopisu nacionalnog značaja (M52) i 1 u naučnom časopisu (M53), zatim 4 saopštenja na skupovima međunarodnog značaja (M33) i 2 saopštenja na skupu nacionalnog značaja (M63), kao i novo tehničko rešenje (M85).

Dragana Radovanović je, kao prvi autor, publikovala tri naučna rada u časopisima međunarodnog značaja sa SCI liste (jedan rad M22 i dva rada M23 kategorije), jedan rad u nacionalnom časopisu međunarodnog značaja (M24), dva saopštenja sa međunarodnog skupa štampana u celini (M33), jedan rad u časopisu nacionalnog značaja (M53) i jedno saopštenje na skupu nacionalnog značaja štampano u celini (M63).

Časopisi sa SCI liste u kojima je kandidatkinja objavila radove:

Naziv časopisa	Kategorija	Impakt faktor	Oblast
Physicochemical Problems of Mineral Processing	M22	IF ₂₀₁₆ = 0,901	Mining & Mineral Processing
Journal of Environmental Science and Health, Part A	M23	IF ₂₀₁₆ = 1,425	Engineering, Environmental
Journal of the Serbian Chemical Society	M23	IF ₂₀₁₃ = 0,889	Chemistry, Multidisciplinary
Environment protection engineering	M23	IF ₂₀₁₃ = 0,439	Engineering, Environmental

Radovi su citirani u naučnoj periodici 35 puta (bez autocitata). Pozitivna citiranost radova ukazuje na aktuelnost, uticajnost i ugled objavljenih radova.

Prva četiri časopisa sa SCI liste u kojima su citirani radovi dr Dragane Radovanović

Naziv časopisa	Kategorija	Impakt faktor	Oblast
Journal of Cleaner Production	M21a	IF ₂₀₁₅ = 4,959	Engineering, Environmental
Journal of Hazardous Materials	M21	IF ₂₀₁₄ = 4,529	Engineering, Environmental
Waste Management	M21	IF ₂₀₁₅ = 3,829	Engineering, Environmental
Hydrometallurgy	M21a	IF ₂₀₁₃ = 2,224	Metallurgy & Mining

5.3.2. Efektivan broj radova i broj radova normiran na osnovu broja koautora, ukupan broj kandidatovih radova, udeo samostalnih i koautorskih radova u njemu, kandidatov doprinos u koautorskim radovima

Dragana Radovanović je kao autor i koautor u svom dosadašnjem radu publikovala 14 bibliografskih jedinica i to: 7 naučnih radova, 6 saopštenja na skupovima međunarodnog i nacionalnog značaja i jedno novo tehničko rešenje. Prosečan broj autora po radu za ukupno navedenu bibliografiju iznosi 4,9 i to:

- M20 - autor 4 rada i koautor 1 rada prosek autora 4,8
- M30 - autor 3 rada i koautor 1 rada prosek autora 5,0
- M50 - autor 1 rada i koautor 1 rada prosek autora 5,0
- M60 - autor 1 rada i koautor 1 rada prosek autora 4,5
- M80 - koautor 1 tehničkog rešenja prosek autora 5,0

5.3.3. Stepen samostalnosti u naučnoistraživačkom radu i uloga u realizaciji radova u naučnim centrima u zemlji i inostranstvu

Dr Dragana Radovanović je tokom dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada pokazala visok stepen samostalnosti u idejama, kreiranju i realizaciji eksperimenata, obradi rezultata i pisanju naučnih radova, koji se u najvećem broju odnose na proces stabilizacije opasnog otpada iz primarne metalurgije osnovnih metala. Rezultate svojih dosadašnjih istraživanja je sistematski analizirala, objasnila i objavila u uticajnim međunarodnim časopisima.

Sumarni prikaz dosadašnje naučno-istraživačke aktivnosti

Kategorija rada	Koeficijent kategorije	Broj radova	Zbir
Rad u istaknutom međunarodnom časopisu (M22)	5	1	5
Radovi u časopisima međunarodnog značaja (M23)	3	3	9
Rad u nacionalnom časopisu međunarodnog značaja (M24)	3	1	3
Saopštenje na skupu međunarodnog značaja štampanog u celini (M33)	1	4	4
Radovi u nacionalnim časopisima (M52)	1,5	1	1,5
Radovi u naučnim časopisima (M53)	1	1	1
Saopštenje na skupu nacionalnog značaja štampano u celini (M63)	0,5	2	1
Odbranjena doktorska disertacija (M70)	6	1	6
Novo tehničko rešenje (nije komercijalizovano) (M85)	2	1	2
Ukupan koeficijent			32,5

Uslov za izbor u zvanje naučni saradnik za tehničko-tehnološke i biotehničke nauke, koje propisuje Pravilnik o postupku, načinu vrednovanja i kvantitativnom iskazivanju naučnoistraživačkih rezultata istraživača ("Sl. glasnik RS", br. 24/2016 i 21/2017), je da kandidat ima najmanje 16 poena koji treba da pripadaju kategorijama:

Minimalni kvantitativni zahtevi za sticanje zvanja naučni saradnik	Minimalno potrebno	Ostvareno
Ukupno	16	32,5
M10+M20+M31+M32+M33+M41+M42+M51+M80+M90+M100 \geq	9	23
M21+M22+M23 \geq	5	14

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu detaljne analize dosadašnjeg naučno-istraživačkog rada i ostvarenih rezultata dr Dragane Radovanović, Komisija smatra da kandidat ispunjava sve potrebne

uslove za izbor u zvanje naučni saradnik i predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da ovaj izveštaj prihvati i isti prosledi odgovarajućoj komisiji Ministarstva prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na konačno usvajanje.

U Beogradu, 27.4.2018.

ČLANOVI KOMISIJE

Dr Željko Kamberović, redovni profesor
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Marija Korać, naučni savetnik,
Univerzitet u Beogradu, Tehnološko-metalurški fakultet

Dr Zoran Anđić, viši naučni saradnik,
Univerzitet u Beogradu, Inovacioni centar Hemijskog
fakulteta